Записки Ленинградского орденов Ленина и Трудового Красного Знамени горного института им. Г. В. Плеханова, т. LIII, вып. 1, 1966 г.

УДК 621.34

БЕСКОНТАКТНЫЕ ЭЛЕМЕНТЫ В СИСТЕМАХ АВТОМАТИЗИРОВАННОГО УПРАВЛЕНИЯ РУДНИЧНЫМИ АСИНХРОННЫМИ ЭЛЕКТРОПРИВОДАМИ

Ю. И. Фель

В схемах рудничной сигнализации, блокировки, автоматического управления нашла довольно широкое применение система магнитных логических элементов (ЭЛМ), выпускаемая Калининским заводом электроаппаратуры. Однако существующие выходные устройства для этой системы имеют ряд принципиальных недостатков, ограничивающих в ряде случаев применение магнитных логических элементов в шахтах. В связи с этим особенно важно создание выходных устройств с использованием кремниевых управляемых вентилей (КУВ) [Бирфельд и др., 1965].

В лаборатории автоматики Ленинградского горного института проведены экспериментальные работы по созданию выходных устройств, предназначенных как для включения различных электромагнитных механизмов рудничной автоматики (реле, контакторов, муфт и т. п.), так и для автоматизированного управления электроприводами.

Для оценки возможности управления КУВ от выходного сигнала ЭЛМ следует рассмотреть вольт-амперные характеристики цепи управления КУВ и нагрузочную характеристику ЭЛМ. В основу работы элементов ЭЛМ положен принцип действия односердечникового быстродействующего магнитного усилителя [Кочетова, Лебедев, 1964]. При запертой цепи управления магнитного усилителя сердечник его находится в состоянии насыщения, и почти все напряжение питания рабочей цепи приходится на нагрузку. Выходное напряжение ЭЛМ при его нагрузке на активное сопротивление имеет вид однополупериодных синусоидальных импульсов со срезом фронта (рис. 1, *а* кривая *1*). Этот срез объясняется тем, что сердечник элемента не имеет идеально прямоугольной петли гистерезиса, а в цепи управления существует обратный ток диода. Поэтому в начале рабочего полупериода магнитное состояние сердечника характеризует точка *3* на кривой гистерезиса (рис. 2), и сердечник перемагничивается рабочим напряжением по кривой *3—4—1*. Уравнение рабочей цепи для этого участка

$$U_{\text{р max}} \sin \omega t = w_{\text{р}} \frac{d\Phi}{dt} - Ri,$$

где $U_{\text{р max}}$ — амплитуда рабочего напряжения; $w_{\text{р}}$ — число витков рабочей обмотки; R — сопротивление рабочей цепи, включая прямое сопротивление вентиля в цепи рабочей обмотки; i — ток рабочей цепи.

Решая это уравнение для начальных условий при ωt 0

$$\Phi = \Phi_4,$$

при $\omega t = 0$

$$\Phi = \Phi_{max},$$

где Φ_4 — магнитный поток, соответствующий точке *4* на петле гистерезиса; Φ_{max} — магнитный поток насыщения, можно определить угол среза синусоиды θ. Расчеты и эксперимент показывают, что для ЭЛМ угол θ не превышает 30° при нагрузке на активное сопротивление.

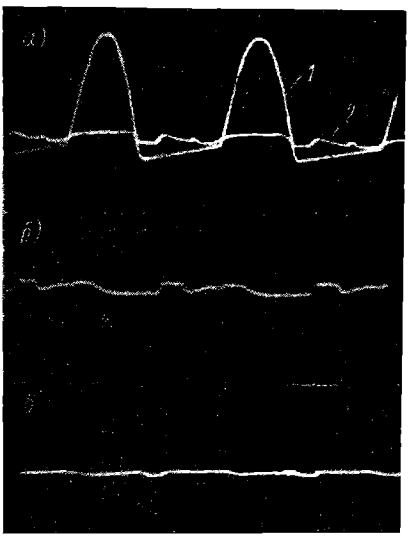


Рис. 1. Осциллограммы выходного сигнала ЭЛМ: *а* — полезный сигнал и помеха; *б* и *в* — помехи при нагрузке соответственно 1000 и 300 *ом*.

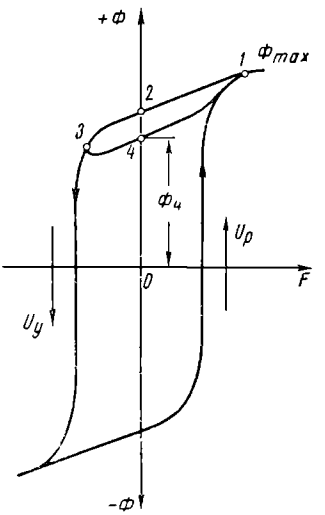


Рис. 2. Кривая намагничивания сердечника ЭЛМ.

Нагрузочная характеристика для выходного сигнала ЭЛМ при включении его на управляющий электрод КУВ определяется уравнением

$$u_p = iR + u_y \text{ (для } \theta + 2n\pi \leqslant \omega t \leqslant \pi \quad 2n\pi),$$

где u_p, u_y — мгновенное напряжение соответственно цепи питания рабочей обмотки ЭЛМ и на управляющем электроде КУВ; n — любое целое число.

На рис. 3 приведены вольт-амперные характеристики цепи управления КУВ Д-235 [Крогерис, Шипка, 1964] с номинальным током 2 *а* в диапазоне температур +120—40° С и нагрузочные характеристики выхода ЭЛМ. Нелинейные границы *А*, *Б* заштрихованной области соответствуют возможному разбросу вольт-амперных характеристик цепи управления Д-235 в указанном диапазоне температур. В диапазоне положительных температур включающий ток диодов Д-235 не превышает 20 *ма* при $U_y = 10$ *в*, а при —60 ± 5° С не выходит за пределы 50 *ма* (рис. 3, зона двойной штриховки).

Нагрузочная характеристика выходного сигнала ЭЛМ для момента, когда напряжение рабочей цепи достигает амплитудного значения,

$$U_{p_{max}} = 12\sqrt{2}\ в$$

(на рис. 3, прямая *1*). Так как эта характеристика проходит вне зоны двойной штриховки, вентили Д-235 надежно отпираются максимальным значением напряжения на выходе ЭЛМ в диапазоне температур +130—40° С.

При положительных температурах для надежного отпирания КУВ достаточно мгновенного значения напряжения на выходе ЭЛМ, соответствующего углу ωt 42,5° от начала рабочего полупериода (на рис. 3, прямая *2*). При отсутствии управляющего сигнала элемент ЭЛМ имеет на выходе напряжение помехи $U_{\text{п}}$ (рис. 1, *а*, кривая *2*).

В рабочий полупериод сердечник ЭЛМ перемагничивается, причем ток в цепи нагрузки не превышает намагничивающего тока (0,8—0,94 *ма*). При этом напряжение холостого хода на нагрузке

$$U_{\text{х.х}} = i_{\mu} R_{\text{н}},$$

где $i_{\mu} = 0{,}94$ *ма* — ток намагничивания; $R_{\text{н}}$ — сопротивление нагрузки.

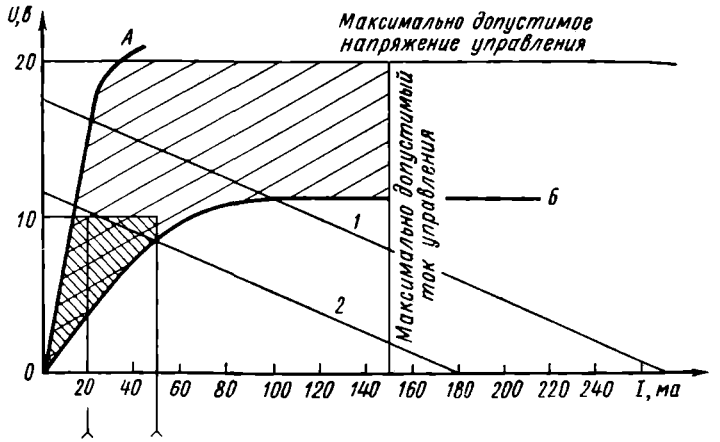


Рис. 3. Вольт-амперные характеристики КУВ и сигнала ЭЛМ.

В управляющий полупериод ток в обмотке управления ЭЛМ вновь перемагничивает сердечник. Изменяющийся магнитный поток трансформирует в рабочей обмотке ЭЛМ э. д. с. $e_{\text{тр}}$, направленную так же, как ток рабочей обмотки в рабочий полупериод, и равную

$$e_{\text{тр}} \approx u_{\text{у}} \frac{w_{\text{р}}}{w_{\text{у}}},$$

где $u_{\text{у}}$ — напряжение цепи управления ЭЛМ; $w_{\text{р}}$, $w_{\text{у}}$ — число витков рабочей и управляющей обмоток.

Так как волна управляющего напряжения благодаря специальному дросселю имеет срез переднего фронта около 60°, а сердечник перемагничивается обмоткой управления значительно раньше конца полупериода, $e_{\text{тр}}$ приобретает вид импульса шириной около 60° (рис. 1, *а*, кривая *2*).

Направление напряжения рабочей обмотки $u_{\text{р}}$ в управляющий полупериод противоположно $e_{\text{тр}}$, и уравнение напряжений в рабочей цепи в период действия $e_{\text{тр}}$ имеет вид

$$u_{\text{тр}} = e_{\text{тр}} - u_{\text{р}} - i_{\text{н}} z_{\text{р}},$$

где $u_{\text{тр}}$ — трансформаторное напряжение на нагрузке; $i_{\text{н}}$ — ток нагрузки; $z_{\text{р}}$ — полное сопротивление рабочей обмотки,

$$z_{\text{р}} = \sqrt{R_{\text{р}}^2 + (\omega L_{\text{р}})^2}.$$

Ввиду большой индуктивности рабочей обмотки, $u_{тр}$ резко падает с увеличением нагрузки рабочей цепи ЭЛМ.

Таким образом, для исключения возможности отпирания КУВ напряжением помехи ЭЛМ, иногда необходимо шунтировать выходную цепь добавочным сопротивлением. На осциллограмме рис. 1, *б*, *в* показано напряжение помехи на выходе ЭЛМ при нагрузке 1000 и 300 *ом*.

Исходя из сказанного выше, возможно создание выходного устройства для включения электромагнитных аппаратов с использованием КУВ с номинальным током 2 *а*, управляемого непосредственно сигналом логического элемента ЭЛМ. Одна из возможных схем такого усилителя приведена на рис. 4. Силовая цепь усилителя состоит из двух управля-

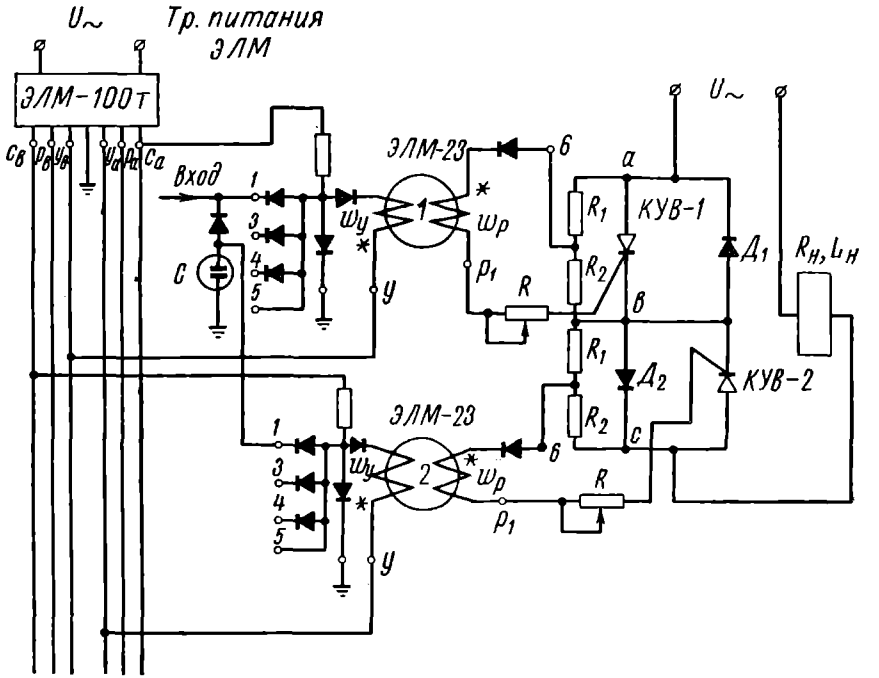


Рис. 4. Схема выходного усилителя на КУВ, управляемого ЭЛМ.

емых кремниевых вентилей КУВ-1 и КУВ-2, включенных встречно-параллельно, шунтированных неуправляемыми диодами $Д_1$ и $Д_2$ для исключения возможности пробоя управляемых вентилей обратным напряжением.

Допустимый ток нагрузки при таком включении вентилей

$$I_н = \frac{\pi}{\sqrt{2}} I_{д.в},$$

где $I_{д.в}$ — допустимый ток вентиля; $I_н = 4{,}4$ *а* при диодах Д-235.

Для управления отпиранием КУВ применены два элемента ЭЛМ (например, ЭЛМ-23).

Особенностью схемы является включение рабочих обмоток элементов ЭЛМ-1 и ЭЛМ-2 на напряжение силовой цепи через делитель R_1 и R_2. Сопротивления R_1 и R_2 подбираются так, чтобы амплитуда напряжения на рабочей обмотке ЭЛМ не превышала 12—18 *в* при закрытом КУВ. При отсутствии сигнала на входе ЭЛМ-1 управляющие обмотки перемагничивают сердечники магнитных элементов, индуктивность рабочих обмоток велика, и по цепи, состоящей из рабочей обмотки ЭЛМ и управляющих

электродов КУВ, проходит небольшой ток намагничивания, величина которого недостаточна для включения управляемого вентиля.

При подаче сигнала на вход *1* элемента ЭЛМ-1 появляется сдвинутый на полпериода сигнал на входе элемента ЭЛМ-2. Сопротивление рабочей обмотки обоих ЭЛМ резко уменьшается, напряжение оказывается приложенным к управляющим электродам КУВ, происходит их отпирание.

При включении КУВ-1 и КУВ-2 цепи потенциометров R_1 и R_2 оказываются шунтированными, и ток в управляющих цепях кремниевых вентилей прекращается. Таким образом, длительность импульса управления равна времени, необходимому для включения КУВ (это время зависит от индуктивности нагрузки).

Эта схема обеспечивает минимальные потери в цепи управления вентиля, а следовательно, и минимальный нагрев управляющего электрода и повышение надежности усилителя. Интересной особенностью схемы является возможность управления углом зажигания КУВ, путем изменения уровня управляющего сигнала.

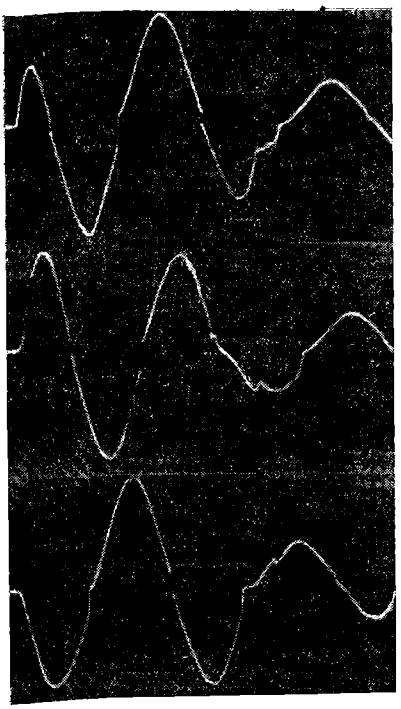


Рис. 5. Осциллограммы включения промежуточного реле при подаче сигнала на выходное устройство ЭЛМ.

Схема проверена экспериментально. При этом нагрузкой усилителя являлось промежуточное реле РП взрывобезопасных шахтных пускателей марок ПМВ-1331, ПМВ-1331 М, ПМВ-1357 А, ПМВ-1357 М, ПМВ-1365 А, ПМВ-1365, рассчитанных на пуск асинхронных двигателей мощностью от 32 до 155 *квт*. Напряжение питания реле 36 *в*, максимальный ток при включении 1,6 *а*, номинальный ток катушки 0,75 *а*, $\varphi = 46°$ Усилитель обеспечивал надежное и четкое срабатывание реле при поступлении сигнала на ЭЛМ и отпускание — при исчезновении сигнала. Максимальное время от подачи сигнала на вход ЭЛМ до замыкания контактов реле — 64,0 *мсек* (рис. 5).

Для пуска трехфазного электродвигателя с применением мощных КУВ, управляемых сигналом ЭЛМ, можно предложить схему, изображенную на рис. 6. Управляемые кремниевые вентили КУВ-1, КУВ-2, КУВ-3 включены в силовую цепь статора трехфазного электродвигателя встречно-параллельно с неуправляемыми диодами $Д_1$, $Д_2$, $Д_3$. Для включения управляемых вентилей предусмотрен специальный трансформатор *Тр*. Обмотки трансформатора включены по схеме Δ/Yo — 9, т. е. напряжение управления опережает напряжение питания на 90°. В зависимости от индуктивности нагрузки угол опережения может быть выбран другим, обеспечивающим надежное включение КУВ при подаче управляющего сигнала.

В нулевой провод трансформатора включен небольшой мощности КУВ-4, (например, диод Д-235). Если в управляющей цепи вспомогательного вентиля КУВ-4 отсутствует ток, вентиль закрыт, и сигнал от трансформатора не поступает в цепи управления мощных вентилей КУВ-1, КУВ-2, КУВ-3. При отпирании вентиля КУВ-4 сигналами трансформатора

отпираются вентили КУВ-1, КУВ-2, КУВ-3, и двигатель включается на напряжение сети.

При включении цепей управления по предлагаемой схеме ток через вентиль КУВ-4 не спадает до нуля, поэтому для выполнения условий управляемости этого вентиля (т. е. запирания его при снятии управляющего сигнала) необходимо включить емкость C_2, параллельно сопротивлению R. Уравнение тока через сопротивление при открытом вентиле для одного периода напряжения

$$i_R R = \begin{cases} U_{ab_{max}} \sin \omega t, & 0 \leqslant \omega t \leqslant \frac{2\pi}{3} \\ U_{ab_{max}} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), & \frac{2\pi}{3} \leqslant \omega t \leqslant \frac{4\pi}{3} \\ U_{ab_{max}} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right), & \frac{4\pi}{3} \leqslant \omega t \leqslant 2\pi \end{cases}$$

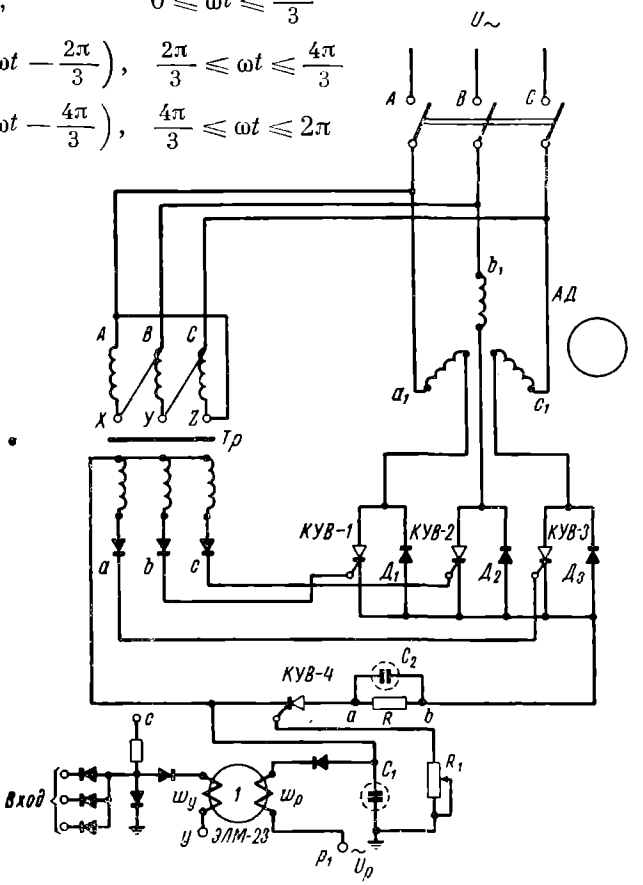


Рис. 6. Схема бесконтактного пускателя асинхронного двигателя, управляемого сигналом ЭЛМ.

Уравнение тока через емкость

$$\frac{1}{\omega C} \int i_C \, d\omega t = \begin{cases} U_{ab_{max}} \sin \omega t, & 0 \leqslant \omega t \leqslant \frac{2\pi}{3} \\ U_{ab_{max}} \sin\left(\omega t - \frac{2\pi}{3}\right), & \frac{2\pi}{3} \leqslant \omega t \leqslant \frac{4\pi}{3} \\ U_{ab_{max}} \sin\left(\omega t - \frac{4\pi}{3}\right), & \frac{4\pi}{3} \leqslant \omega t \leqslant 2\pi \end{cases}$$

Управляемость вентиля КУВ-4 выполнима при условии

$$i_{\text{в}} = i_R + i_C \leqslant I_{\text{откл. в}} \approx 0$$

для момента $\omega t = K\frac{2\pi}{3}$, где K — любое целое число; $i_{\text{в}}$ — ток через вентиль; $I_{\text{откл. в}}$ — ток отключения вентиля.

Анализ схемы позволяет получить выражение для подбора необходимых параметров цепи [Иванчук, Липман, Рувинов, 1964].

$$\omega RC_2 = \frac{1}{\sqrt{3}}.$$

При выполнении этого условия ток в цепи вентиля КУВ-4 равен нулю каждую треть периода, и при снятии сигнала управления вентиль будет запираться. Управление вспомогательным вентилем КУВ-4 осуществляется выходным сигналом ЭЛМ. Величина емкости C_1 выбирается из расчета поддерживания величины тока цепи управления, необходимой для надежного отпирания КУВ во все время действия выходного сигнала ЭЛМ.

Схема позволяет легко осуществлять защиту силовых КУВ от перегрузок и коротких замыканий путем закорачивания выходной цепи ЭЛМ при действии соответствующих датчиков перегрузки.

Таким образом, имеется возможность создать полностью бесконтактную схему управления асинхронным двигателем с использованием магнитных логических элементов в функциональной части и кремниевых управляемых вентилей в силовой части схемы. Такую схему можно использовать, например, для разветвленных подземных конвейерных линий, водоотливных установок, горных машин.

ЛИТЕРАТУРА

Бирфельд А. Г. и др. Бесконтактные системы управления на магнитных логических элементах. Докл. к IV Всесоюзн. совещ. по автомат. электроприводу, ВНИИЭМ, 1964.

Иванчук Б. Н., Липман Б. Р. Рувинов Б. Я. Тиристорные усилители постоянного тока. Энергия, 1964.

Кочетова Л. И., Лебедев К. К. Магнитные логические элементы типа ЭЛМ-50. В сб. Элементы и схемы дискретной техники в системах автоматического контроля и управления. Вып. 1. ОНТИ приборостр. средств автомат. и систем управл., 1964.

Крогерис А. Ф., Шипка Я. К. Основные характеристики управляемых полупроводниковых выпрямительных элементов (УПВЭ). В сб. Полупроводники и их применение в электротехнике. Изд. АН Латв. ССР, 1964.